

가상썰기와 기존썰기의 물리적 특성 비교

국립암센터 방사선종양학과 · 한서대학교 방사선학과* · 원광보건대학 방사선과**
 조정근 · 최계숙 · 임청환* · 김정구* · 정홍량* · 이정옥** · 이만구**

- Abstract -

Physical Characteristics Comparison of Virtual Wedge Device with Physical Wedge

Jung Keun Cho · Kye Sook Choi · Cheong Hwan Lim* · Jeong Koo Kim*

Hong Ryang Jung* · Jung Ok Lee** · Man Goo Lee**

Department of Radiation Oncology, National Cancer Center, Seoul, Korea

*Department of Radiology, Hanseo University**

*Department of Radiology, Wonkwang Health Science College***

We compared the characteristics of Siemens virtual wedge device with physical wedges for clinical application. We investigated the characteristics of virtual and physical wedges for various wedge angles (15, 30, 45, and 60) using 6- and 15-MV photon beams. Wedge factors were measured in water using an ion chamber for various field sizes and depths. In case of virtual wedge device, as upper jaw moves during irradiation, wedge angles were estimated by accumulated doses. These measurements were performed at off-axis points perpendicular to the beam central axis in water for a 15 cm × 20 cm radiation field size at the depth of 10 cm. Surface doses without and with virtual or physical wedges were measured using a parallel plate ion chamber at surface. Field size was 15 cm × 20 cm and a polystyrene phantom was used.

For various field sizes, virtual and physical wedge factors were changed by maximum 2.1% and 3.9%, respectively. For various depths, virtual and physical wedge factors were changed by maximum 1.9% and 2.9%, respectively. No major difference was found between the virtual and physical wedge angles and the difference was within 0.5. Surface dose with physical wedge was reduced by maximum 20% (x-ray beam : 6 MV, wedge angle : 45, SSD : 80 cm) relative to one with virtual wedge or without wedge. Comparison of the characteristics of Siemens virtual wedge device with physical wedges was performed. Depth dependence of virtual wedge factor was smaller than that of physical wedge factor. Virtual and physical wedge factors were nearly independent of field sizes. The accuracy of virtual and physical wedge angles was excellent. Surface dose was found to be reduced using a physical wedge.

I. 서 론

방사선 치료 중 jaw를 움직임으로써 썰기형태의 빔 측면도를 얻을 수 있는 가상썰기 개념은 전자 제어화 된 선형가속기가 등장함에 따라 실현이 가능하게 되었다^{1,2)}. 가상썰기는 기존썰기에 비해 치료 준비에서의 정확성을 직접 눈으로 확인하기가 어렵고 썰기의 형태를 전자제어 장치를 이용하여 생성하기 때문에 주기적인 정도관리가 필요하다는 단점이 있지만 치료의 준비 시간을 단축해 줄 수 있을 뿐만 아니라 조사면의 크기와 깊이에 따른 썰기인자의 변화가 거의 없다는 장점을 가지고 있다^{3,4)}. 최근에 Desobry 등⁴⁾에 의해 수행된 지멘스사의 가상썰기를 사용한 연구에 의하면 가상썰기는 원하는 썰기각도를

정확하게 만들어낼 수 있고 5 cm 깊이에서 측정된 썰기인자는 조사면의 크기에 대해서 거의 변화가 없었으나 썰기인자의 깊이 의존성이 에너지 플루언스의 비선형성으로 인해 발생하며 깊이가 깊어짐에 따라 약간씩 증가한다고 보고하였다.

본 연구에서는 최근에 도입된 가상썰기(Siemens Medical System, Inc., Concord, USA)의 임상적용을 위하여 각각의 에너지와 명목상의 썰기각에 대해서 빔 측면도와 썰기인자를 측정하였다. 썰기인자의 특성을 평가하기 위하여 조사면의 크기와 깊이에 의존성, 그리고 피부선량에 미치는 영향을 조사하였다. 측정된 결과는 기존의 썰기를 사용한 경우와 비교하였다.

II. 재료 및 방법

1. 썰기인자의 조사면의 크기 의존성

각각의 명목상의 썰기각(30와 60)과 에너지(6MV x-선과 15 MV x-선)에 대해서 대칭 조사면의 크기가 5 cm × 5 cm, 10 cm × 10 cm, 15 cm × 15 cm, 20 cm × 20 cm 일 때 최대선량 깊이 (6 MV x-선 : 1.5 cm, 15 MV x-선 : 3.0 cm)에서 썰기인자를 측정하였다. 이 때, Source-to-Axis Distance(SAD)는 100 cm이었다. 각각의 조사면의 크기에 대해서 가상썰기를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우에 대해서 흡수선량을 선량측정용 물수조(Multidata RTD, St. Louis, USA)를 사용하여 0.125 cc 전리함(Thimble Ion-Chamber Model 9732, Multidata Co., St. Louis, USA)과 전기계(NE 2620A, Nuclear Enterprise, England)로 측정하였다(Fig. 1). 썰기인자는 동일한 setup 상태에서 썰기를 사용하지 않은 경우에 대한 썰기를 사용하여 측정된 값의 비로 나타났다.

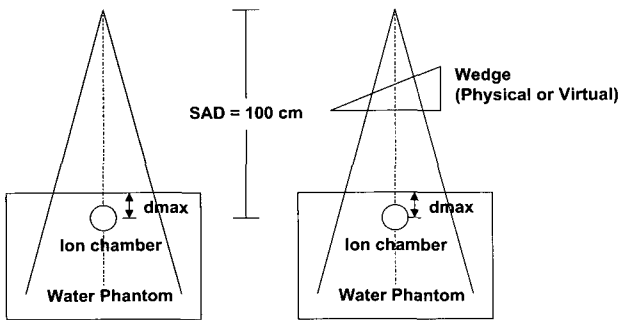


Fig. 1. Setup geometry for measurement of field size dependence of wedge factors in water. Wedge factors were measured for various field sizes, 5 cm × 5 cm, 10 cm × 10 cm, 15 cm × 15 cm and 20 cm × 20 cm. Source to Axis distance(SAD) was 100 cm and measured depth was d_{max} for each energy. Virtual and physical wedge angles used were 30 and 60. Used x-ray beams were 6- and 15-MV.

2. 썰기인자의 깊이 의존성

각각의 명목상의 썰기각(30와 60)과 에너지(6 MV x-선과 15 MV x-선)에 대해서 대칭 조사면의 크기가 15 cm × 20 cm인 상태에서 깊이를 d_{max} , 5 cm, 10 cm, 그리고 15 cm으로 변화시키면서 썰기를 사용하지 않은 경우, 가상썰기를 사용한 경우, 그리고 기존의 썰기를 사용한 경우의 흡수선량을 위에서와 동일한 전리함을 사용하여 측정하였다(Fig. 2). 이 때 선원에서 팬텀까지의 거리는 100 cm으로 고정하였으며 측정 결과를 토대로 가상썰기와 기존 썰기의 썰기인자를 결정하였다.

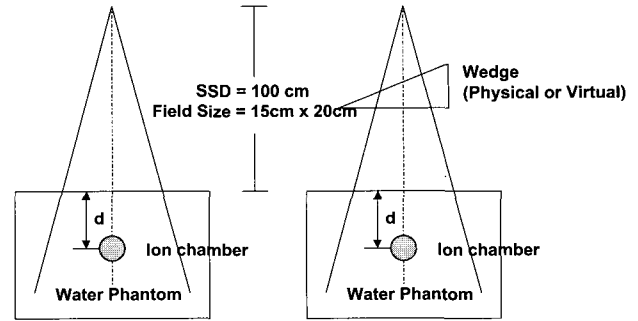


Fig. 2. Setup geometry for measurement of depth dependence of wedge factors in water. With and without virtual wedge(or physical wedge), wedge factors were measured for various depths(d_{max} , 5 cm, 10 cm and 20 cm). Source to Surface distance(SSD) was 100 cm and field size was 15 cm × 20 cm. Wedge angles were 30 and 60. Used x-ray beams were 6- and 15-MV.

3. 가상썰기와 기존썰기가 표면선량에 미치는 영향

6 MV와 15 MV의 x 선원에서 각각의 명목상의 썰기각(15, 30, 45, 그리고 60)에 대하여 조사면의 크기가 15 cm × 20 cm일 때 썰기를 사용하지 않은 경우, 기존썰기를 사용한 경우 그리고 가상썰기를 사용한 경우의 표면선량을 측정하였다. 선형가속기의 모니터 단위는 SAD가 100 cm 이고 특정 깊이(10 cm 그리고 20 cm)에 동일한 처방선량을 주고자 할 때 필요한 값으로 고정하였다. 본 실험은 폴리스티렌 팬텀의 표면과 특정깊이에 각각 평판형 전리함(Markus chamber, PTW 23343, Freiburg, Germany)과 파머형 전리함(NE2571, Nuclear Enterprise, England)을 빔의 중심 축상에 위치시킨 후 흡수선량을 동시에 측정하였다(Fig. 3). 썰기를 사용하지 않았을 때의 값을 1

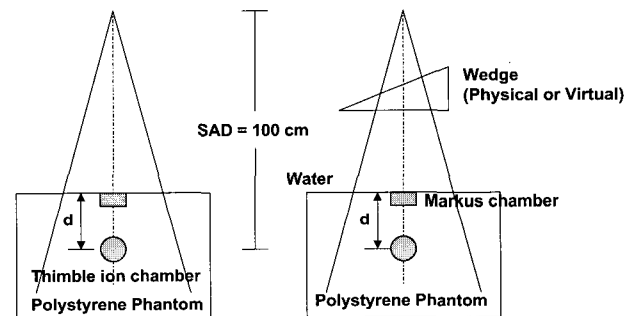


Fig. 3. Setup geometry for measurement of surface dose using virtual and physical wedge devices. With virtual wedge(or physical wedge), surface doses were measured at 10- and 20 cm depth. SAD was 100 cm and field size was 15 cm × 20 cm. Wedge angles were 15, 30, 45, and 60. Used x-ray beams were 6- and 15-MV.

로 정규화 시킨 후 가상썰기와 기존썰기를 사용했을 때의 표면선량 변화를 평가하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 썰기인자의 조사면의 크기 의존성

명목상의 썰기각 (30와 60)에 대하여 조사면의 크기가 5 cm × 5 cm, 10 cm × 10 cm, 15 cm × 15 cm, 20 cm × 20 cm일 때 썰기인자를 측정된 결과 가상썰기를 사용한 경우 15 MV x-선을 조사하였을 때 조사면의 크기의 변화에 따른 썰기인자는 거의 변화를 나타내지 않았으나 6 MV x-선으로 조사하였을 때 조사면의 크기의 증가에 따라 썰기인자가 기준 조사면의 크기(10 cm × 10 cm)에 대해서 최대 2.1%까지 증가하였다. 기존썰기를 사용한 경우 조사면의 크기의 증가에 따라 6 MV x-선과 15 MV x-선에 대해서 모두 조사면의 크기 의존성을 나타내었으며 각각 최대 3.9%와 3.0%까지 증가하였다(Fig. 4).

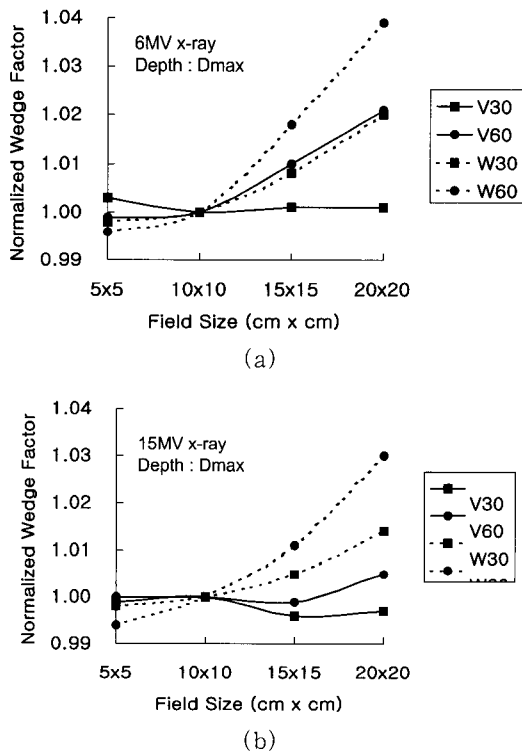


Fig. 4. Field size dependence of wedge factors for virtual and physical wedges. W and V represent physical wedge and virtual wedge, respectively. (a) 6 MV x-ray and (b) 15 MV x-ray.

2. 썰기인자의 깊이 의존성

명목상의 썰기각(30와 60)에 대하여 조사면의 크기 15 cm

× 20 cm인 경우 깊이를 dmax, 5 cm, 10 cm 그리고 15 cm으로 변화시키면서 썰기인자를 측정된 결과 가상썰기를 사용한 경우 15 MV x-선을 조사하였을 때 깊이 변화에 따른 썰기인자는 dmax에서의 썰기인자를 기준으로 할 때 거의 변화를 나타내지 않았으나(0.5% 이내) 6MV x-선으로 조사하였을 때 깊이 증가에 따라 썰기인자가 최대 1.9%까지 증가하였다. 기존썰기를 사용한 경우 깊이가 증가함에 따라 6 MV x-선과 15 MV x-선에 대해서 모두 깊이 의존성을 나타내었으며 각각 최대 2.9%와 1.1%까지 증가하였다(Fig. 5).

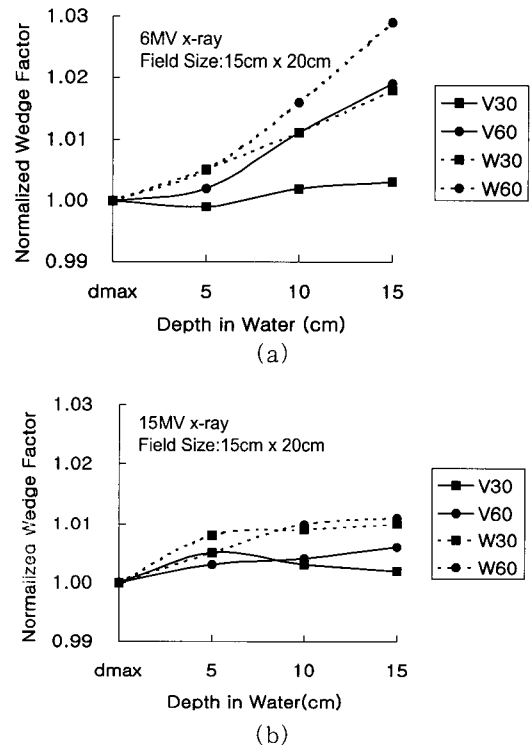


Fig. 5. Depth dependence of virtual and physical wedge factor. W and V represent physical wedge and virtual wedge respectively. (a) 6 MV x-ray and (b) 15 MV x-ray.

3. 가상썰기와 기존썰기가 표면선량에 미치는 영향

Fig. 6은 6 MV와 15 MV x-선원에서의 가상썰기와 기존썰기를 사용했을 때의 표면선량의 변화를 나타낸 그림이다. 빔의 중심 축 상에서의 표면선량은 가상썰기를 사용한 경우에는 썰기를 사용하지 않은 경우와 유사한 결과를 얻었으나 기존썰기를 사용했을 때 6MV x-선의 경우 가상썰기를 사용하거나 썰기를 사용하지 않은 경우에 비해 명목상의 썰기각 및 썰기에서 표면까지의 거리에 따라서 12% 내지 20% 정도 감소하였으며 15 MV x-선의 경우 9% 내지 13% 정도 감소하였다.

IV. 고 찰

일반적으로 썰기인자는 10 MV 이상인 x-선의 경우 조사면의 크기나 깊이에 따라 무시할 수 있을 정도의 작은 변화를 보이는 것으로 알려져 있으며 에너지가 작아질수록 의존성이 커진다고 보고되고 있다⁵⁻⁸⁾. 따라서, 저에너지 x-선의 경우에는 썰기인자의 깊이 및 조사면의 크기의 의존성을 고려해야 한다. 한편, 가상썰기의 경우에는 기존썰기와는 달리 빔 경화 효과에 의한 깊이와 조사면의 크기 의존성이 없다고 생각할 수 있으나 빔이 조사되는 동안 콜리메이터가 연속적으로 변하기 때문에 산란선의 변화에 의해서 깊이나 조사면의 크기에 따라 썰기인자가 달라질 수 있다. 지멘스사의 가상썰기와 기존썰기를 대상으로 조사한 본 연구의 결과 썰기인자의 깊이와 조사면의 크기에 따른 의존성은 에너지와 명목상의 썰기각에 상관없이 기존썰기를 사용한 경우가 가상썰기를 사용한 경우에 비해 1% 내지 2% 정도 더 크게 평가되었다. Fig. 4와 Fig. 5에서 보는 바와 같이 에너지가 작을수록 그리고 명목상의 썰기각이 클수록 썰기인자의 깊이 및 조사면의 크기 의존성은 더욱 크게 나타났는데 이 결과는 다른 연구자들의 결과와 잘 일치하였다⁶⁻⁷⁾. 명목상의 썰기각과의 일치성을 확인하기 위하여 10 cm 깊이에서의 빔 측면도를 측정하였으며 가상썰기와 기존썰기가 모두 정확하게 일치하였다. 가상썰기의 경우에는 컴퓨터 내에 입력된 상수들을 적절히 변화시킴으로써 소프트웨어적으로 썰기각도를 바꾸어줄 수 있기 때문에 보다 유연하게 각도를 조절할 수 있으나 썰기각도가 변할 수도 있으므로 지속적인 정도관리를 수행해야 한다는 단점이 있다. 기존썰기를 사용한 경우 썰기를 사용하지 않거나 가상썰기를 사용한 경우에 비해 표면선량이 적게 평가되었는데 x-선의 에너지가 작고 SSD가 작은 경우 20% 정도까지 감소하였다. 그 이유는 표면선량을 증가시키는 주 요인인 겐트리 헤드와 콜리메이터에서 발생한 산란 x-선과 전자선을 기존썰기가 흡수하기 때문이다. 따라서 썰기를 이용하여 환자를 치료할 경우에 표면선량을 줄이기 위해서는 가상썰기보다 기존썰기를 사용하는 것이 더욱 효과적이라고 할 수 있다.

V. 결 론

컴퓨터와 전자제어 기술의 발달은 방사선치료기에도 지대한 영향을 미쳐 다엽콜리메이터, 가상썰기, 세기변조 방사선치료 등 획기적인 변화를 거듭하였다. 저자는 이러한 최첨단의 기술 중에서 방사선조사 도중 콜리메이터의 움직임을 통해 썰기 형태의 선량분포를 만들어 낼 수 있는 지멘스사의 가상썰기의 특성을 조사하고 이를 기존썰기의 특성과 비교 평가하였다. 일반적으로 가상썰기는 기

존썰기에 비하여 치료의 준비시간을 단축하는 등 시술자의 편의를 제공하고 있다. 입체조형치료나 세기변조방사선치료 등의 다문 고 난이도 치료를 수행하기 위해서는 이러한 가상썰기의 사용이 필수적이라 하겠다. 하지만 치료 준비에서의 정확성을 직접 눈으로 확인하기가 어렵고 썰기의 형태를 전자제어장치를 이용하여 생성하기 때문에 주기적인 정도관리가 필요하다는 단점을 가지고 있다. 또한 물리적인 측면에서 볼 때 가상썰기는 기존썰기에 비해 조사면의 크기와 깊이에 따른 썰기인자의 변화가 거의 없다. 즉 깊이 및 조사면의 크기 의존성이 낮게 평가되었다. 그리고 가상썰기와 기존썰기는 10 cm 깊이에서 명목상의 썰기각에 대해서 매우 정확하게 일치하여 가상썰기를 치료에 적용하는데 유리하다는 확신을 가지게 되었다. 다만 가상썰기를 사용할 경우 피부표면선량이 기존썰기를 사용한 경우보다 약 10%, 많게는 20%까지 증가하기 때문에 이를 고려하여 임상에 적용하여야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Kijewski PK, Chin LM, Bjarngard BE : Wedge shaped dose distributions by computer controlled collimator motion, *Med Phys*, 1978 ; 5:426-429
2. Leavitt DD, Martin M, Moeller JH, Lee WL : Dynamic wedge field techniques through computer-controlled collimator motion and dose delivery, *Med Phys*, 1991 ; 17:87-91
3. Liu C, Li Z, Palta JR : Characterizing output for the Varian enhanced dynamic wedge field, *Med Phys*, 1998 ; 25:64-70
4. Desobry GE, Waldron TJ, Das IJ : Validation of a new virtual wedge model, *Med Phys*, 1998 ; 25: 71-72
5. Sharma SC, Johnson MW : Recommendations for measurement of tray and wedge factors for high energy photons, *Med Phys*, 1994 ; 21:573-575
6. McCullough EC, Gortney J, Blackwell CR : A depth dependence of determination of the wedge transmission factor for 4-10 MV photon beams, *Med Phys*, 1988 ; 15:621-623
7. Palta JR, Daftari I, Sutaralingam N : Field size dependence of wedge factors, *Med Phys*, 1988 ; 15: 624-626
8. Choi DR, Ahn YC, Huh SJ : Clinical application of wedge factor, *J Korean Soc Ther Radiol*, 1995 ; 13(3): 291-296.